

**А. А. ПЕРМЯКОВ**, д-р. техн. наук, проф. НТУ «ХПІ»;  
**Е. В. НАБОКА**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»;  
**О. Ю. ПРИХОДЬКО**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»;  
**С. Е. СЛИПЧЕНКО**, ст. викл. НТУ «ХПІ».

## **СЕТИ ПЕТРИ КАК МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМПОНОВОК СЛОЖНОСТРУКТУРНОГО АГРЕГАТИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

В статье рассматривается особенность использования сетей Петри в качестве одного из инструментов исследования технологических систем. С использованием сетей Петри представлена модель агрегатного станка-автомата, имеющего четыре рабочие позиции, позицию загрузки и позицию разгрузки.

**Ключевые слова:** агрегатный станок-автомат, сеть Петри, компоновка, технологическое оборудование, граф.

Многолетняя практика создания и эксплуатации станков сложной структуры постоянно указывает на то, что правильный выбор и рациональное построение компоновки оказывает большое влияние на их качество. Во многих случаях создания специальных и универсальных станков это влияние оказывается решающим. Влияние компоновки на качество технологической станочной системы проявляется по двум направлениям. Во-первых, через структуру, правильный выбор которой обеспечивает необходимую универсальность или специализацию и соответствие ряду технологических и других требований. Во-вторых, через выбор рациональных конструкторских исполнений, размерных пропорций и расположения узлов в пространстве, чем обеспечиваются высокие технико-экономические показатели качества.

Создание компоновки любой технологической системы представляет собой сложную многовариантную, многофакторную задачу, определяющую многие основные параметры технологического оборудования (производительность, металлоемкость, занимаемую площадь, параметры точности и другие). Задачи компоновки металлорежущего оборудования являются структурными задачами, которые по сложности на порядок выше параметрических, так как этап принятия структурного компоновочного решения предопределяет во многом эксплуатационные показатели и эффективность будущего станка.

Прикладная теория сетей Петри связана главным образом с применением сетей Петри к моделированию систем и их анализу. В настоящее время она содержит большое количество моделей, методов и средств анализа, имеющих обширное количество приложений практически во всех отраслях вычислительной техники и даже вне ее.

В соответствии с требованиями прикладных областей были разработаны различные расширения сетей Петри, направленные на учет временных, вероятностных характеристик, использование данных, построение иерархических моделей и т. д. Одно из основных достоинств сетей Петри заключается в том, что они могут быть представлены как в графической форме, что обеспечивает их наглядность, так и в аналитической.

Модель сети Петри является принципиально асинхронной и служит для отображения и анализа причинно-следственных связей в системе. Для привязки к определенным моментам времени тех или иных переходов в синхронных системах используются события. Переходы из состояния в состояния считаются "мгновенными". Если переход реально происходит через какие-то промежуточные состояния, а нам существенно учесть в модели эти обстоятельства, то вводятся соответствующие "подсобытия". Сеть Петри имеет четыре базовых элемента: позиции (places), переходы, дуги и метки (token).

Определенная комбинация условий может стимулировать определенное событие, которое вызовет в свою очередь изменение условий. В сетях Петри события и условия отображаются абстрактными символами, называемыми переходами (вертикальными или горизонтальными полосками - "барьерами") и позициями (кружками). Условия-позиции и события-переходы связаны отношениями зависимости, которые отображаются с помощью ориентированных дуг. Позиции, из которых исходят дуги данного перехода, называются входными позициями. Позиции же, к которым ведут дуги данного перехода, называются выходными позициями. Выполнение условий отображается помещением соответствующего числа меток в соответствующую позицию. Если число меток велико (более 2-3), емкость условия может быть отображена числом.

Аналитическое определение. Сеть Петри - набор

$$N = (P, T, F, W, Mo),$$

где  $(P, T, F)$  - конечная сеть (множество  $X = 3uT$  конечно);

$W: F \rightarrow N \setminus \{0\}$  (знак  $\setminus$  здесь означает разность множеств);

$Mo: P \rightarrow N$  - две функции, называемые кратностью дуг и начальной пометкой. Первая ставит в соответствие каждой дуге число  $N > 0$  (кратность дуги). Если  $N > 0$ , то при графическом представлении сети число  $N$  выписывается рядом с короткой чертой, пересекающей дугу.

Моделирование в сетях Петри осуществляется на событийном уровне. Определяются, какие действия происходят в системе, какие состояния предшествовали этим действиям и какие состояния примет система после выполнения действия. Выполнения событийной модели в сетях Петри описывает поведение системы. Анализ результатов выполнения может сказать о том, в каких состояниях пребывала или не пребывала система, какие состояния в принципе не достижимы.

Текущее состояние системы определяет маркировка сети Петри, т.е. расположение меток (токенов) в местах сети. Выполнение действия в системе, в сетях Петри определяется как срабатывание переходов. Срабатывание переходов порождает новую маркировку, т.е. порождает новое размещение меток (токенов) в сети.

Используя вышеприведенные принципы построения сетей Петри возможно создание модели, например, описывающей функционирование агрегатного станка-автомата, имеющего 4 рабочие позиции и 2 загрузочно-разгрузочные (Рис.1).

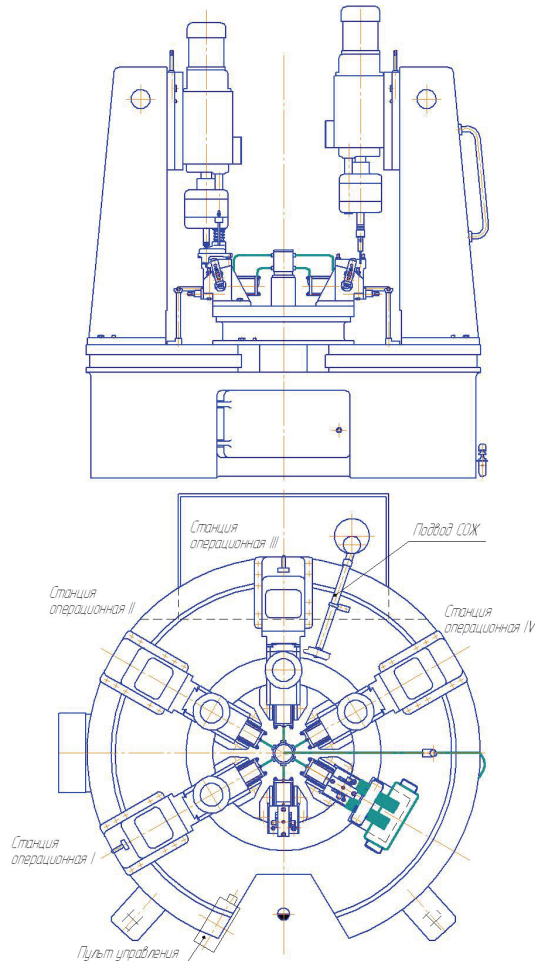


Рис. 1 – Многопозиционный агрегатный станок-автомат

При графической интерпретации сеть Петри является графом особого вида, состоящим из вершин двух типов — позиций (position) и переходов (transition), соединенных ориентированными дугами, причем каждая дуга может связывать лишь разнотипные вершины (позицию с переходом или переход с позицией). Вершины-позиции обозначаются кружками, вершины — переходы — прямоугольниками (или черточками). В содержательном плане переходы соответствуют событиям, присущим исследуемой системе, а позиции — условиям их возникновения. Переход (событие) характеризуется определенным числом входных и выходных позиций, соответствующих предусловию и постусловию данного события. Совокупность переходов, позиций и дуг позволяет описать статическую систему. Для описания динамики вводится еще один объект — так называемый маркер (token), или метка позиции, которая соответствует выполнению того или иного условия (обозначается точкой внутри позиции). Расположение маркеров в позициях называется разметкой сети. Переход считается активным, если в каждой его входной позиции есть хотя бы один маркер, что равносильно выполнению всех необходимых условий для наступления события. Наступление события в терминах сетей Петри представляется срабатыванием перехода, при этом маркеры из входных позиций изымаются и добавляются в каждую выходную позицию. Текущее состояние исследуемой системы определяется распределением маркеров по позициям сети, а динамика поведения системы отображается перемещением маркеров по позициям сети.

В качестве позиций сети  $P$  удобно принять структурные элементы агрегатного станка (позиции обработки, транспортная система (поворотный делительный стол), силовые агрегаты), в качестве переходов  $T$  — фиксированные состояния, в которых находится технологическая система в данный промежуток времени, а в качестве дуг  $F$  — действия, производимые в процессе работы станка или при подготовке к его работе (Рис.2). Для рассматриваемой модели позиции сети  $P$ :

- $P_1$  - позиция обработки 1;
- $P_2$  - позиция обработки 2;
- $P_3$  - позиция обработки 3;
- $P_4$  - позиция обработки 4;
- $P_5$  - позиция разгрузки;
- $P_6$  - позиция загрузки;
- $P_7$  - планшайба поворотного-делительного стола;
- $P_8$  - устройство импульсной системы смазки;
- $P_9$  - силовой агрегат №1;
- $P_{10}$  - силовой агрегат №2;
- $P_{11}$  - силовой агрегат №3;
- $P_{12}$  - силовой агрегат №4;
- $P_{13}$  — система охлаждения.

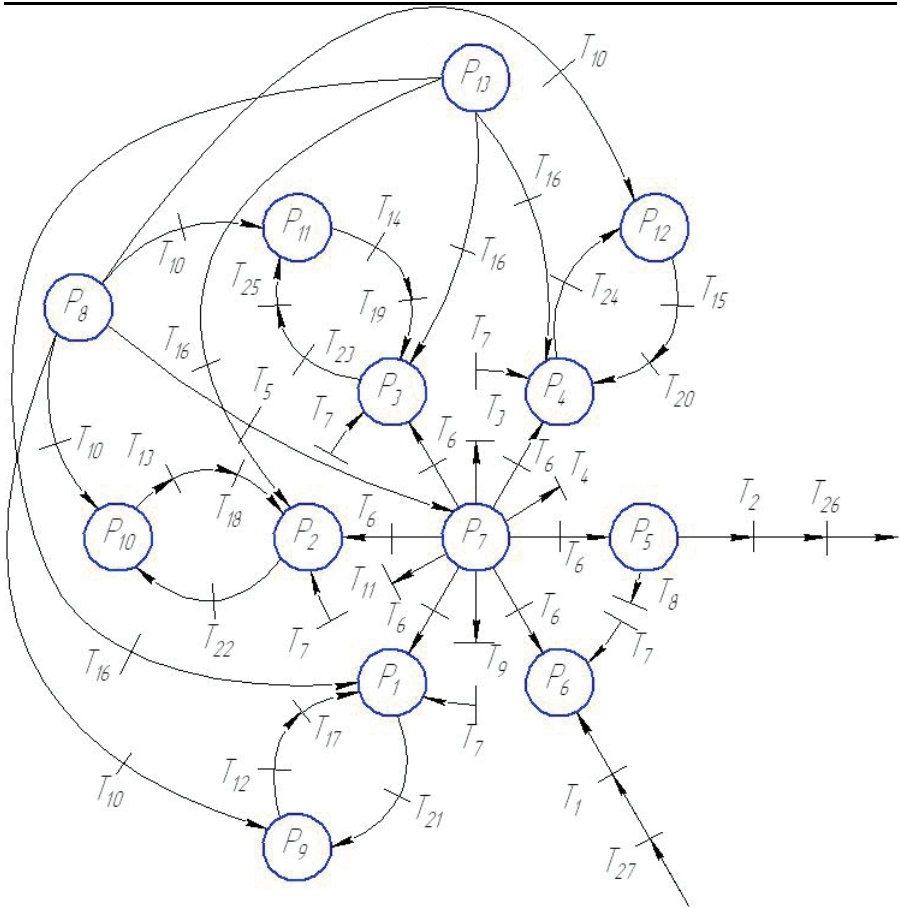


Рис. 2 – Модель (сеть Петри) агрегатного станка-автомата.

Содержание переходов Т:

$T_1$  - заготовка загружена в приспособление;  $T_2$  - обработанная деталь выгружена из приспособления;  $T_3$  - разгружена планшайба поворотного стола;  $T_4$  - планшайба расфиксирована;  $T_5$  - подана смазка к направляющим поворотного стола;  $T_6$  - планшайба повернута на позицию;  $T_7$  - заготовка зажата;  $T_8$  - обработанная деталь разжата;  $T_9$  - планшайба поворотного стола зафиксирована;  $T_{10}$  - смазка силовых агрегатов выполнена;  $T_{11}$  - планшайба поворотного стола зажата;  $T_{12}$  - быстрый подвод (БП) силового агрегата №1 выполнен;  $T_{13}$  - БП силового агрегата №2;  $T_{14}$  - БП силового агрегата №3 выполнен;  $T_{15}$  - БП силового агрегата №4 выполнен;  $T_{16}$  - охлаждение зоны резания;  $T_{17}$  - рабочий ход (РХ) силового агрегата №1 выполнен;  $T_{18}$  - РХ силового агрегата №2 выполнен;  $T_{19}$  - РХ силового агрегата №3 выполнен;  $T_{20}$

- РХ силового агрегата №4 выполнен;  $T_{21}$  - быстрый отвод (БО) силового агрегата №1 выполнен;  $T_{22}$  - БО силового агрегата №2 выполнен;  $T_{23}$  - отвод на рабочей подаче силового агрегата №3 выполнен;  $T_{24}$  - БО силового агрегата №4 выполнен;  $T_{25}$  - БО силового агрегата №3 выполнен;  $T_{26}$  - обработка детали выполнена;  $T_{27}$  - заготовка загружена в автооператор подачи заготовок.

**Вывод.** Задачи компонентики сложноструктурного металлорежущего оборудования, создаваемого по агрегатно-модульному принципу, могут успешно моделироваться на основе прикладной теории сетей Петри. Учет временных, вероятностных характеристик, построение иерархических моделей подсистем и всей технологической системы агрегатированного оборудования позволит при проектировании не только оценить качество конкурирующих вариантов многопозиционной технологической компоновки по критериям производительности и надежности функционирования, но и обеспечить выбор рациональной системы управления агрегатного станка-автомата.

**Список литературы:** 1. Гебель Х. Компоновка агрегатных станков и автоматических линий. /Пер.с нем. - М.:ГНТИ МЛ, -1959.-189с. 2. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков: (Основы компонентики) -М.:Машиностроение, 1978.-208с. 3. Котоз В.Е. Сети Петри, - М.: Наука, 1984. - 158 с. 4. Лескин А.А., Мальцев П.А., Спиридонов А.М., Сети Петри в моделировании и управлении.-Л.: Наука, 1989.-133с. 5. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем.: Пер. с англ.-М.: Мир, 1984. - 263с. 6. Слепцов А.И., Юрасов А.А. Автоматизация проектирования управляющих систем гибких автоматизированных производств/Под ред. Б.Н.Малиновского.-К.: Техшка, 1986-110 с. 7. Технология системного моделирования / Е.Ф. Аврамчук, А.А. Вавилов, СВ. Емельянов и др.; Под общ. Ред. СВ. Емельянова и др.-М.: Машиностроение; - Берлин: Техник, 1988 - 520с.

Поступила в редколлегию 29.10. 2012

УДК 621.9

**Сети Петри как моделирования компоновок сложноструктурного агрегатированного технологического оборудования / А.А. Пермяков, Е. В. Набока, О. Ю. Приходько, С. Е. Слипенченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХПІ», 2012. – № 53(959). – С.110-115. – Бібліогр.: 7 назв.**

У статті розглядається особливості використання мереж Петрі як один з інструментів дослідження технологічних систем. З використанням мереж Петрі представлена модель агрегатного верстата-автомата, що має чотири робочі позиції, позиція завантаження і позиція розвантаження.

**Ключові слова:** агрегатний верстат-автомат, мережа Петрі, компоновка, технологічне обладнання, граф.

In the article the feature of the use of networks Petri is examined as one of instruments of research of the technological Systems. With the use of petrinets the model of aggregate machine-tool-automat. having four workings positions, position of load and unloading position is presented.

**Keywords:** modular automatic machine, Petri's network, configuration, processing equipment, count.